中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）46(2)：158～166（1997）

太空包香菇環控立體多層栽培生產之研究[1]

賴建洲　周廷弘　梁連勝[2]

摘要：在以 PU 發泡材料包覆之絕熱環控室內，立體多層栽培太空包香菇，使用冷凍機調節室內溫度、自走式噴霧機加濕、風扇用以維持環控室內之氣體流動與環控室內外換氣之立體多層環控栽培體系已開發完成。菇舍之溫度、濕度等環境因子，透過電腦來自動管理與監控，香菇立體栽培是可行的，且可週年在平地生產。在整個過程中，只有在太空包入庫上架、出庫下架與採收時，方需使用人工。單位面積產能為傳統栽培法之六倍，若以10年為基準，其年投資報酬率約為35%。

關鍵詞：香菇太空包、環控、立體多層栽培。

前　　言

本省香菇之生產栽培方式可分為段木栽培與木屑栽培二種(1)，後者俗稱太空包栽培。採段木栽培方式者每接種一次可採收三年，而太空包栽培方式每接種一次經三至四個月培養期後，每隔三至四個星期可採收一次，依菌包生長狀況一批菌包可採收四至八次。目前臺灣香菇（乾菇）之年總產量約3,500公噸，其中段木栽培佔720公噸，為太空包栽培所生產者佔2,775公噸。全省栽培地區主要分佈在宜蘭、新竹、臺中、彰化、南投五個縣，而以南投縣為首（2,041公噸，佔2/3強），因此本省香菇之栽培以太空包栽培為主（民國八十一年栽培包數為13,255萬包）(2)。

而太空包之生產流程依序為木屑堆積、配料混合製包、殺菌、接種、養包、出菇、收穫、乾燥、選別及貯藏等作業。就現行太空包香菇栽培之作業方式而言，菌包之培養（養包）與出菇之處理大多在簡易設施內進行，較先進者有噴霧機構、風扇等裝置來加濕與通風，以避免太包體發生脫水或過熱之現象。採簡易設施栽培之業者，遇天氣異常時，往往無法掌握香菇之生長情況，導致出菇率不良或不出菇，甚至有太空包腐爛之現象。因此配合栽培需求來改良養包及出菇之設施環境，使環境之控制能夠機械化與自動化是必需且迫切的。在機械化、自動化之環控設施內，雖然可確保養包與出菇環境不受大氣影響，但成本之提高是必然的，因此有必要採行立體栽培方式，以增加單位面積之產能與產值。

材料與方法

一、試驗材料

使用高溫品系之香菇菌種（菇農稱為1927）所製成之香菇太空包一萬包。

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第1897號。
2. 本所農工系副研究員、助理、研究員兼主任。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

二、試驗設備

㈠絕緣室

在700×800CM 之基地上，四個角點以槽型鋼（200×100㎜）爲主幹，另外每間格1米之距離，則以 C 型鋼（100×100㎜）爲支幹，外覆一層表面噴被1CM 厚 PU發泡材料之彩色絕熱浪型鋼板，形成一長×寬×高爲700×800×460CM 之絕熱室（如圖1所示）。

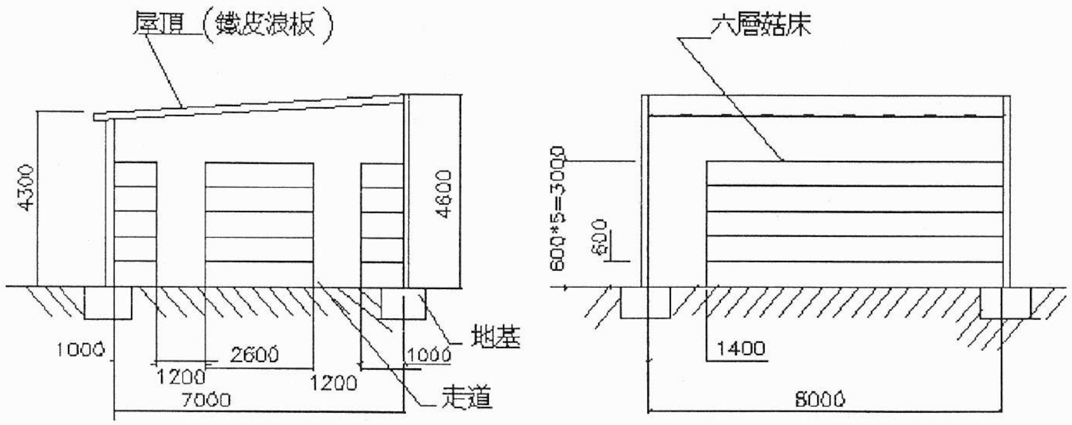

圖 1. 香菇太空包環控立體多層栽培室（單位：㎜）

Fig. 1. Multi-layer culture room for shiitake in sawdust bags under environmental control

㈡栽培架

以5×1CM（寬×厚）之木板，訂製成六層之立體栽培架，每層高度爲60CM，同時爲工作方便，在栽培架二側設有寬1.5米之走道（如圖1所示）。

㈢上下架輸送機

由於太空包製造時，從製包、殺菌、接種、栽培整個過程中，爲提高效率，菇農之現行作業方式，將12包放置在塑膠籃內作爲1個單位，以方便運輸。每藍之重量依太空包製作之大小而有所不同，平均大約在15公斤左右，若將此重量由地面搬至高度超過2公尺之位置，將是非常吃力之工作；因此爲配合環控立體栽培作業，乃依現場作業流程需求，規劃設計具下列功能之輸送機：⑴輸送高度爲3公尺：此高度爲最上層之底部高度。⑵機械裝置寬度不得寬於1公尺：由於環控室內採密集栽培，務求單位面積內有最大之栽培量，因此走道寬度在容許範圍內是愈窄愈好，由於籃子之寬度在50公分以內，加上鐵架與輪子之厚度，整體機械之寬度爲75公分。⑶機械裝置長度不得長於2.5公尺：爲方便輸送機之進出，更參考現有環控立體栽培，且已成功商業生產之金針菇栽培場，其車道寬約爲3公尺，因此爲求本輸送機之兼用性，將其長度定在3公尺內。⑷皮帶之輸送方向可上下逆轉（如圖 2 所示）。

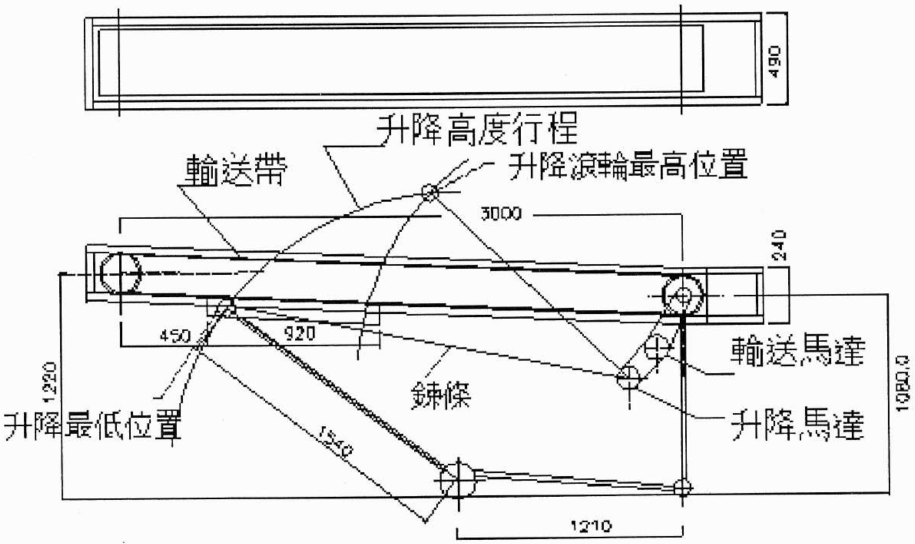

圖 2. 上下架輸送機示意圖（單位：mm）
Fig. 2. Diargram of conveyor for the highest and lowest position

(四)溫度控制裝置

爲控制溫度在15°C至28°C間，使用氣冷式冷熱雙用之溫度調整機，其動力規格爲三相、220V、7.5噸之冷凍機。

(五)加濕裝置

應用一般在國蘭栽培所使用之離心式噴霧機，每小時造霧所需水量爲2公升，使用單相220 V 之電源；爲求室內噴霧之均勻性，將其安裝在自走裝置上，以使在栽培室內往復移動噴霧。

(六)內外通風裝置

由於栽培室內體積爲260立方公尺，使用3相、220V、1馬力之風扇2臺作爲通風設備，每2分鐘可換氣1次，如此可將香菇太空包因呼吸作用所產生之二氧化碳濃度有效低在1000PPM以下，同時透過環控策略可適度調整室內之溫度與濕度。

(七)內部各層均風裝置

爲使溫度、濕度均勻分佈[3]在太空包之四週，將單相220V、1／24馬力之小風扇懸掛在自走裝置之下方，依環控策略之指示，進行各層均風作業。

(八)往復自走機構

使用5公分之方形鋼管材料爲雙軌自走機構之軌道，其承運能力爲300公斤，因此可將噴霧機、風扇懸掛其下，同時需帶動電源線、控制線與水管，行走速度每分鐘不超過10公尺（如圖3所示）。爲了簡化控制流程，線路之設計則要求只要供應電源即可往復自走。至於所承載之風扇與加濕機所需之電力，則由另外之電路控制。

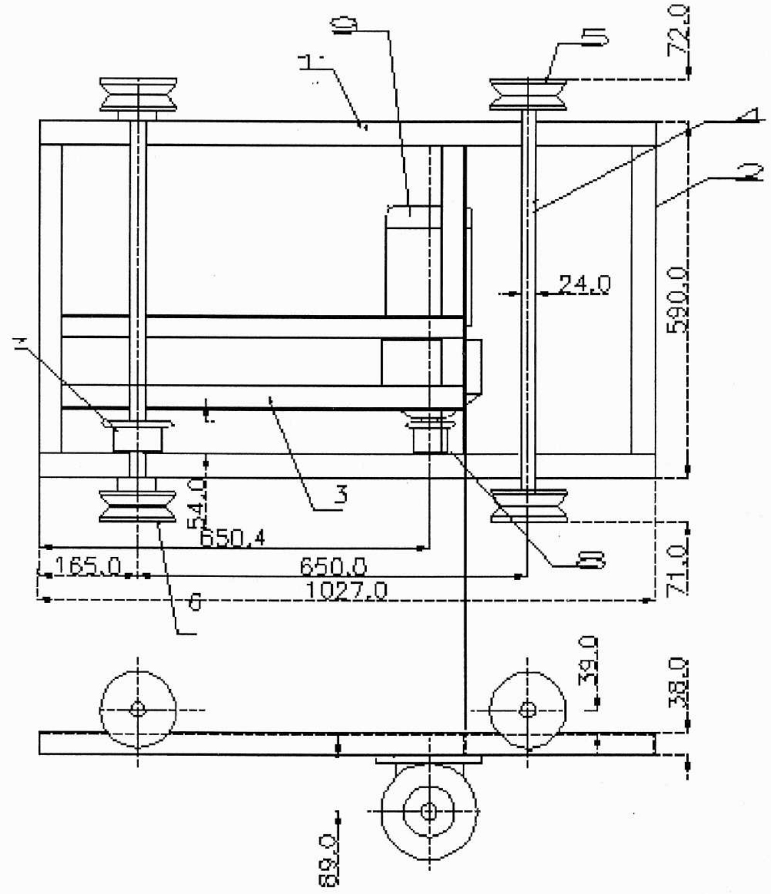

圖 3. 往復自走機構示意圖（單位：mm）

Fig. 3. Diagram of automatic forward and backward carrier

(九)溫度感應器

使用 PT-100溫度感應器4支，用來量測栽培室內與大氣之乾、濕球溫度，透過轉換器（Transducer）將0-100°C之溫度線性轉換成0-5V 之直流電壓，並連接至類比訊號轉換器之第一點至第四點。

(十)濕度感應器

使用乾、濕球之溫度，透過熱氣線圖之[4,5]對應公式，經電腦計算可得知當時之相對濕度、絕對濕度等熱學特性值。

(土)二氧化碳感應器

使用 TELAIRE 2001型二氧化碳感應器，其二氧化碳濃度感測範圍達0-10,000PPM，並具0-5V 直流電壓與4-20ma 輸出，可接至類比訊號轉換器之第五點。

(三)類比、數位訊號轉換器

使用國產之 AD/DA 卡（研華 PCL-818H、PCL-789）與 D/O 卡（PCL-720、PCL-785），可接16點之壓差輸入（Differential Input）與32點之數位輸出，其輸出電壓可為直

流或交流，端視所供應之接地電壓爲何，爲配合馬達、冷凍機、風扇等承載電壓皆爲交流220V，本試驗之數位輸出電壓採用交流220V 之輸出電壓。

㈢機電控制箱

由於使用設備計有冷凍機1臺（20A），內外通風風扇2臺（6A），內部均風風扇10臺（5A），噴霧機2臺（3A），自走機構1組（2A），總共耗用電流爲36A，爲安全起見，使用50A 之斷電器，並依各機構之電流耗用量來選用1.5倍安全值之繼電器（30A×1，10A×5），每一繼電器之控制線圈與 D/O 卡接點連接，而使用負載線圈連接動力電源與設備，每一設備之控制方式皆採手動與自動二種方式，以便進行各種特定試驗與方便現場工作人員之作業。

㈣中央控制系統

使用 PC 級（Intel 80486-33）之微處理機爲中央運算控制中心，將上述設備與電腦連線，先用人爲起動系統中之各接點，看各機構之動作是否正確，再使用軟體語言 Quick Basic 4.0撰寫整體環境自動監控程式，透過 PCL-818H 與 PCL-789類此數位控制卡之接點，將 PT-100經轉換器送來之電壓解讀後，再依環控決策軟體之判斷，透過 D/O（PCL-785）卡之輸出電壓來起動機電控制箱內之繼電器，以控制相關週邊裝置之開關，同時記錄生產過程中室內與室外之溫、濕度，作爲未來比較環控室內與傳統室外香菇栽培生產情形之參考，並供環控策略修正之依據，其基本動作原理如圖4所示。

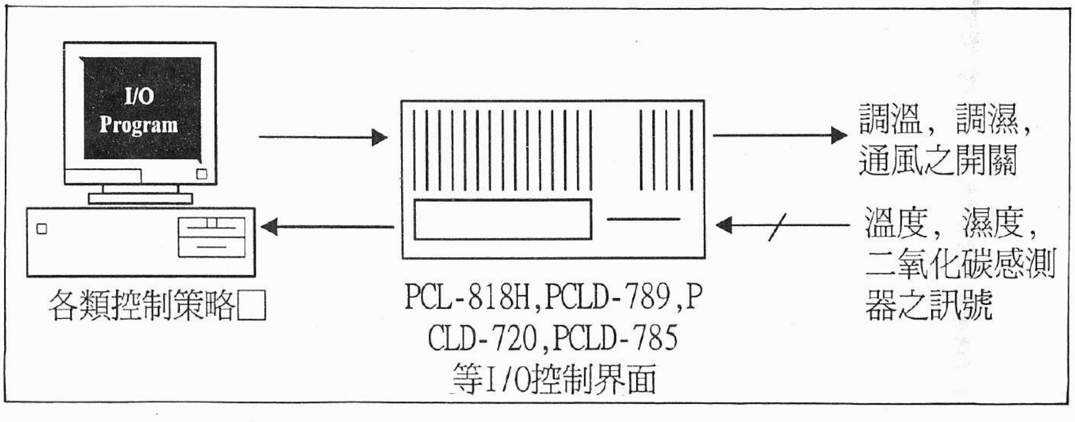

圖 4. 香菇太空包環控栽培自控系統示意圖

Fig. 4. Diagram of automatic environmental control system for Shiitake in sawdust bags

三、試驗方法

本研究之主要構想在發展、建立香菇栽培環境自動監控系統及相關週邊機械設備，並配合香菇菌絲、菌傘不同生長期之需求[6]，發展香菇環控栽培之控制策略，以達有效節約環控成本及減少栽培過程中人工之需求。監控系統之軟體使用培基語言設計，軟體在中文系統下執行，有全中文的使用者界面，非常具親和性，且所有的訊號包括環境感測之乾、濕球濕度與二氧化碳訊號及控制動作皆可在螢幕上顯示。軟體中可設定各栽培之環控條件，如栽培階段、溫度、濕度與二氧化碳濃度等，系統本身會依當時所量測得到之各點乾、濕度溫度，同步換算出當時大氣中及栽培室內之溫度與相對濕度，而依香菇成長各階段之生理需求與所設定之控制策略，依當時大氣溫、濕度與栽培室內溫、濕度、二氧化碳之變化，自動判斷是否需起動冷凍機、加濕機或通風機，來調整栽培室內溫、濕度與二氧化碳濃

度，以達到自動調控生長環境，節省大量人工之耗費，並避免無效之機械運轉[7,8]。

由於香菇從菌包培養至完成收穫，進而丟棄不符生產價值之菌包，其過程歷經採前養包期、出菇期、蕈體形成期與採後養包期四個不同培養階段。其對環境因子之生理需求亦不同，故不同培養階段之環境控制亦不盡相同，詳細說明如下：

㈠採收前養包期

由製包、殺菌、接種後之菌絲培養，因香菇菌絲處於萌芽幼期，容易受外界雜菌之污感染之發霉，以致腐爛。因此需要將太空包口以塑膠管套束緊，並以棉花塞緊塑膠管，以降低雜菌感染之機會，在此時期需要不利雜菌生長之環境，即適溫、低相對濕度之環境，但溫度對菌絲生長速度影響頗巨，又因香菇菌絲為一耗氧性之菌種，成長時因呼吸作用，會產生大量之二氧化碳，因此適當之初期養包溫度、濕度與二氧化碳濃度，為影響香菇太空包存活率與香菇菌絲生長速度之決定因子。在此時期白色之菌絲將由接種處快速擴散、成長，進而將整個太空包內之木屑完全包覆。

㈡出菇期

傳統栽培香菇菌絲經約120日之培養後，包體表面顏色由白色轉變成褐色，且有突起狀之顆粒形成時，代表菌絲已成熟，可施以適當之刺激，像日夜溫度、濕度、二氧化碳濃度之改變以及太空包體之振動等，皆可促使香菇子實體之產生。同時為了讓香菇成長，於第一次出菇時，必需將太空包頂部塑膠管套去除，並將塑膠袋延著太空包體頂部割開。

㈢蕈體成形期

當子實體已產生後，為了使其蕈傘肥大，必需提供良好環境，促進菌絲成長，將培養基（木屑）內之養份吸收、轉換、供應香菇生長所需，因此菌絲強勢生長之環境是此時期環控之目標。

㈣採收後養包期

由於採收時，會造成頂部表面菌絲受傷，同時因為生產香菇蕈體時消耗甚多能量，需要將菌絲再好好培養，重新蓄積養份，以供應再一次生產香菇蕈體。由於太空包於第一出菇時已被割開，太空包體內部所含之水份，因蒸散作用與生產菇體時被耗用甚多，需要適量補充水份，因此採後養包期與採前養包期環境需求最大之不同點在於空氣中高相對濕度之保持。採後養包完成後，可再行出菇生產蕈體，如此週而復始，依栽培技術之優良與否，可行二至六次之採收作業。

結果及討論

一、在以 PU 發泡材料包覆之絕熱環控室內，立體多層栽培太空包香菇，使用冷凍機調節室內溫度、自走式噴霧機加濕、風扇用以維持環控室內之氣體流動與環控室內外換氣。在溫度、濕度等環境因子透過電腦來自動管理與監控下，香菇立體栽培是可行的，且可週年在平地生產。在整個過程中，只有在太空包入庫上架、出庫下架與採收時，方需使用人工。

二、立體栽培之上下層間距以60公分為佳，依環控室之高低，來決定栽培層數，一般為六至八層，在長8米寬7米高4.6米之絕緣室，可栽培約1.2萬包之太空包，若以10年為基準，每年栽培2回來算，其投資報酬率約為35%，但若生產花菇則效益將更佳。

三、太空包香菇栽培管理之環控因子控制條件，依生產階段不同而有所差異，可將之分成三階段分析如下：

㈠採收前養包期：

1. 溫度

香菇太空包經置於30/25、25/20、20/15°C及30/15°C四種不同控制環境下培養，其菌絲生長情況依環境不同而有所差異，其中控制環境之日夜溫設定爲30/25、25/20及30/15°C三者爲較佳，初期20日之生長速率爲0.5cm/日，後期則較緩慢，生長速率爲0.4cm/日。菌絲可於二個月內佈滿菌包。而20/15°C日夜溫之培養環境則以0.3cm/日之生長速率緩緩成長，共需要約80日，菌絲方能佈滿。由於香菇菌絲在生長行呼吸作用時，會釋出熱能與二氧化碳，若不將其釋出之熱能排除，足以將室溫提高至35°C，因此若以能源之觀點來看，30/25之日夜溫爲此栽培階段溫度控制設定之最佳條件。

當白色菌絲佈滿太空包時，可利用日夜溫度差之刺激，可使太空包提早褐化與包體表面突起顆粒之形成，加速子實體之產生。

2. 濕度

由於在此栽培階段之太空包，其菌絲尙未成熟，容易受感染，因此栽培室內濕度愈低愈好，不可超過70%。

3. 二氧化碳

香菇菌絲生長時會行呼吸作用，並會釋放大量之二氧化碳，當其濃度太高時會抑制呼吸作用，而影響菌絲之生長速度，必需靠內外通風風扇將其排出，以降低其濃度。

(二)出菇期

1. 溫度

當菌絲成熟後，即可行出菇處理，可經由15°C至18°C之低溫處理三日，再將溫度調高至22°C，經7日即見香菇子實體冒出。若於溫度處理結束時，再施以輕微振動一次，可得更密佈之子實體產生。若太空包屬第一次採收，在不傷害包體之情況下，必需將頂部塑膠帶割開，以便香菇蕈體之生長。

2. 濕度

在此栽培階段，因頂部完全暴露在空氣中，這表示空氣中之水份與包體之水份，將可經由頂部進出包體，爲了形成香菇子實體，需將包體表面濕度維持在85%以上及微量之通風。

3. 二氧化碳

與採收前養包期相同。

(三)蕈體形成期

此階段之溫度、濕度、二氧化碳與內部均風，將決定未來香菇之形狀、品質。

1. 溫度

將空氣溫度維持在22°C，太空包體溫度維持在19°C，且需均勻通風，經七日即可得下部柄粗短、上部傘厚肥之香菇。

2. 濕度

若只是使菇體肥大，需維持包體頂部表面濕度在90%以上，但若欲得香菇極品—花菇，則需將濕度維持在70%以下。

3. 二氧化碳

與採收前養包期相同。

(四)採收後

1. 溫度

仍以30/25°C之日夜溫度培養，可使採後太空包之表面內層菌絲再生，約三至四星期後即可再行出菇處理。

2. 濕度

在此階段之室內濕度以95%為佳，不可低於80%。由於濕度較高，整體通風務必要均勻，使包體表面保持氣流之流動。

3. 二氧化碳

與採收前養包期相同。

四、在試驗室內，花菇之形成，可透過蒸氣壓差（VPD）之原理，利用菇體週遭風速大小與濕度高低之控制，來形成菇體內外之水蒸氣壓差，迫使菇體產生裂痕，但若控制不當，會造成香菇菌絲生長不良，以至於死亡。因此如何在不影響菌絲生長情況下，控制產生花菇所需之環境，以及大量生產時，各項機械設備之規劃、設計，則有待實際測試後方可驗證。

五、不管在何時期，香菇會產生大量之二氧化碳，因此培養室內外之換氣，要非常注意。尤其在形成期，環控之決策需將二氧化碳因子先行考慮控制在1,000PPM 以下，至於其細部影響則有待探討。

六、立體栽培雖然可節省栽培土地之使用、提高單位產能，但搬運勞力之需求卻也提高一倍，雖然已完成上下輸送機之研製，可有效降低立體置放太空包勞力之耗費，但實際操作時機體之移動仍嫌笨重，有待改善。

結論與建議

使用電腦軟體技術，將太空包香菇之栽培生理融入環控策略中，配合環控之設備與控制策略技術，將太空包栽培方式由平面擴展至立體，以提高單位面積之產量，同時降低因投資環控設備所增加之單位重量之生產成本，使香菇之生產不再受地區與自然氣候之限制，可全年大量生產，但由於生產過程每個月所耗費之電力約為每包1元，因此雖然環控生產可全年穩定生產，減低管理勞力之需求，但受制於設施成本過高（同樣培養包數下，約為傳統設施生產之2倍），其銷售競爭力將降低，除非可生產出高品質之香菇，例如花菇（售價為一般香菇之2—3被倍），否則農民接受之意願將不高。但若站在物以希為貴之鮮銷市場立場來看，全年穩定生產供應之特性，卻是業者所需要的。而市場供需之調整，可使環控生產之競爭力提高不少。

誌　　謝

本研究承蒙農委會補助（計畫編號：84科技-2.7-糧-7、85科技-1.8-糧-26、86科技-1.8-糧-16）而完成，特此誌謝。研究期間菇農趙守仁先生提供菇舍、太空包及栽培經驗協助本研究之進行，特誌萬分謝意。

引用文獻

1. 農委會。1983。香菇木屑塑膠包栽培。農民淺說255A。行政院農委會。
2. 臺灣農業年報。1993。臺灣省政府農林廳。102—103頁。
3. 馮丁樹。1988。循環式稻穀乾一機之系統模擬及其在個人電腦上之應用。國立臺灣大學農業機械工程學系國科會研究成果報告。
4. 馮丁樹、方煒。1985。個人電腦應用之二-NTU-DRY 靜置式厚層玉米粒乾燥系統模擬程式之研究。農工學報31(4)：101—110。
5. 馮丁樹、方煒。1985。個人電腦應用之一—玉米厚層乾燥對數模式之探討。農工學報31(3)：18—26。
6. 賴建洲、梁連勝、周廷弘。1994。香菇太空包之培養及其熱傳模式之研究。中華農業研究41(4)：414—424
7. 賴建洲、周廷強、梁連勝。1995。紅外線香菇乾燥與自動監控系統之建立。中華農業研究44(4)：464—469
8. 賴建洲、方　煒、謝建家。1995。種子乾燥調製自動控制系統之建立。中華農業研究44(4)：470—482。

46-2-5

A Study on Multi-layer Culture of Shiitake in Sawdust Bags under Environmental Control[1]

Chien-Chou Lai, Tyng-Horng Chou and Lien-Sheng Liang[2]

Summary

A Multi-layer culture system under environmental controll for Shiitake in Sawdust Bags had been developed and run yearly around. Only when the processing of putting the bags on or taking the bags from each layers or harvesting, the labor was needed. The capacity is six times of traditional culture method in each unit area. The return of investment is 35% under 10 years base.

Key words : Shiitake in sawdust bag, Environmental control, Multi-layer culture.

---

1. Contribution No.1897 from Taiwan Agricultrue Research Institute.
2. Respectively, Associate Researcher, Assistant and Senior Engineer, Department of Agricultural Engineering, TARI, Wufung, Taichung, Taiwan, ROC.